

Modélisation de la ventilation des amphibiens

Modeling of Amphibian Ventilation

Laboratoire JA Dieudonné à Nice, France

(see below for english version)

Encadrant :

Benjamin Mauroy

Contact :

benjamin.mauroy@univ-cotedazur.fr

Web :

<http://benjamin.mauroy.free.fr>



Lieu : laboratoire JA Dieudonné (LJAD), parc Valrose, Université Côte d'Azur, Nice.

Contexte scientifique :

Les amphibiens et les mammifères sont des animaux qui disposent d'un poumon pour capturer l'oxygène de l'air et y rejeter le dioxyde de carbone. Comme ils partagent un ancêtre évolutif commun, le poumon des amphibiens pourrait former un modèle primitif de celui des mammifères. L'étude du poumon des amphibiens pourrait donc permettre de mieux comprendre l'évolution et les caractéristiques des poumons des mammifères.

Les amphibiens adultes disposent d'un poumon sans diaphragme, un muscle qui, chez les mammifères, est le principal pilote de la ventilation pulmonaire. Pour ventiler leurs poumons, les amphibiens utilisent donc une autre méthode qui s'appuie sur leur cavité buccale. Leur schéma ventilatoire se décompose en différentes étapes :

- Pour inspirer, ils commencent par remplir leur cavité buccale avec de l'air grâce aux muscles de leur gorge. Puis, ils ferment les narines avant d'ouvrir le passage vers le poumon grâce à leur glotte. Enfin, ils poussent avec leurs muscles l'air vers les poumons.
- Pour expirer, les poumons se contractent pour que l'air dans les poumons passe dans la cavité buccale. Ensuite la glotte se ferme et les narines s'ouvrent et l'air est expulsé.

Cette façon de ventiler leur poumon est appelé pompage buccal.

Objectif du stage :

Ce stage de modélisation mathématique s'inscrit dans une collaboration avec des biologistes (MNHN, CHU Grenoble), il vise à modéliser la mécanique et la physique du pompage buccal des amphibiens pour mieux comprendre comment ces animaux ventilent leur poumon, capturent l'oxygène ambiant et rejettent le dioxyde de carbone.

La première étape sera de mettre en place un modèle de type ODE mimant la mécanique de deux compartiments (l'un pour la cavité buccale, l'autre pour les poumons), la mécanique des fluides en leur sein et les échanges entre l'air et le sang. Ce premier modèle s'appuiera sur des données anatomiques qui seront, en particulier, extraites de reconstructions 3D du système respiratoire des amphibiens fournies par nos collègues biologistes. Ce modèle et les résultats obtenus seront ensuite analysés et validés en collaboration avec ces mêmes collègues.

La seconde étape sera de commencer à développer un modèle 3D éléments finis (FreeFEM++) de la ventilation du poumon des amphibiens, en s'appuyant sur le modèle de type ODE mis en place dans la première étape et sur les reconstructions 3D de leur système respiratoire. En premier lieu, seule la cavité buccale sera modélisée en 3D et elle sera couplée à un modèle 0D du poumon. En second lieu, et en fonction de l'avancement du stage, on pourra chercher comment adapter un modèle 3D du poumon des mammifères déjà existant au LJAD au poumon des amphibiens.

Mots-clefs : modélisation, poumon, amphibien, mécanique, mécanique des fluides, transport, transferts, ODE, EDP, éléments finis.

Cadre : Ce stage se déroulera dans le cadre d'un nouveau projet de recherche, en marge des projets VirtualChest et VADER du LJAD qui visent à développer des modèles mathématiques des poumons des mammifères afin de mieux comprendre leurs caractéristiques et leurs dysfonctionnements chez l'humain.

Pour plus de détail, voir <http://benjamin.mauroy.free.fr>.

Profil :

Profil mathématiques appliquées, ingénieur ou physique numérique.

Des connaissances de base en mécanique et/ou mécanique des fluides et en éléments finis seront importantes pour ce stage.

Un intérêt pour la biologie sera fortement apprécié.

Une poursuite en thèse pourra être envisagée selon l'évolution du stage.

Modeling of Amphibian Ventilation

Laboratoire JA Dieudonné in Nice, France

Supervisor :

Benjamin Mauroy

Contact :

benjamin.mauroy@univ-cotedazur.fr

Web :

<http://benjamin.mauroy.free.fr>

**Scientific context:**

Amphibians and mammals are animals that possess lungs to capture oxygen from the air and expel carbon dioxide. Since they share a common evolutionary ancestor, the lungs of amphibians could represent a primitive model of those in mammals. Therefore, studying amphibian lungs could help to better understand the evolution and characteristics of mammalian lungs.

Adult amphibians have lungs without a diaphragm, a muscle that is the main driver of pulmonary ventilation in mammals. To ventilate their lungs, amphibians use a different method that relies on their buccal cavity. Their ventilation process consists of several steps:

- To inhale, they begin by filling their buccal cavity with air using throat muscles. Then, they close their nostrils before opening the passage to the lung via the glottis. Finally, they push the air into the lungs with their muscles.
- To exhale, the lungs contract, allowing air to move from the lungs into the buccal cavity. Then, the glottis closes, the nostrils open, and the air is expelled.

This method of lung ventilation is called buccal pumping.

Internship Objective:

This mathematical modeling internship is part of a collaboration with biologists (MNHN, CHU Grenoble) and aims to model the mechanics and physics of amphibian buccal pumping to better understand how these animals ventilate their lungs, capture ambient oxygen, and expel carbon dioxide.

The first step will be to implement an ODE-based model that mimics the mechanics of two compartments (one for the buccal cavity and the other for the lungs), fluid mechanics within these compartments, and gas exchange between the air and the blood. This initial model will rely on anatomical data, particularly extracted from 3D reconstructions of the amphibian respiratory system provided by our biologist colleagues. This model and the results obtained will then be analyzed and validated in collaboration with these colleagues.

The second step will be to begin developing a 3D finite element model (FreeFEM++) of amphibian lung ventilation, based on the ODE model established in the first step and on 3D reconstructions of their respiratory system. Initially, only the buccal cavity will be modeled in 3D and will be coupled with a 0D model of the lung. Subsequently, depending on the progress

of the internship, we may explore how to adapt an existing 3D model of the mammalian lung from the LJAD to the amphibian lung.

Keywords: modeling, lung, amphibian, mechanics, fluid mechanics, transport, transfers, ODE, PDE, finite elements.

Framework:

This internship will take place within a new research project, parallel to the LJAD's VirtualChest and VADER projects, which aim to develop mathematical models of mammalian lungs to better understand their characteristics and dysfunctions in humans. For more details, see <http://benjamin.mauroy.free.fr>.

Profile:

Applied mathematics, engineering, or numerical physics background.

Basic knowledge in mechanics and/or fluid mechanics and finite elements will be important for this internship.

An interest in biology will be highly valued.

A pursuit of a PhD may be considered depending on the progression of the internship.